

Temná hmota in flagranti

aneb Co nevíme o podstatě hmoty ve vesmíru

VLADIMÍR WAGNER

Základní princip: Zkoumáte-li neznámou oblast, logicky nemůžete vědět, co v ní naleznete. Arthur Bloch: Murphyho zákon

Prčina je skryta, výsledek je všeobecně znám.

Ovidius

Právě v době kongresu Mezinárodní astronomické unie v Praze (14.-25. srpna 2006) byl zveřejněn výsledek, který by mohl být klíčový pro prokázání existence temné hmoty.¹ Může přispět k potvrzení představy, že klasická hmota² (atomy, ionty, nukleony, elektrony) představuje ve vesmíru jen 4 % hmoty, 22 % tvoří již zmíněná temná hmota, a „zbytek“ (většinu) temná energie zatím záhadné podstaty. Věnujme se tedy temné hmotě, od prvních tušení po nové poznatky.

Dává o sobě vědět v náznacích

O existenci temné hmoty se uvažuje od třicátých let 20. století, kdy se zjistilo, že se hvězdy v galaxiích pohybují tak, jako kdyby galaxie neobsahovaly jen *svítící hmotu*, ale nějakou další. Původně se myslelo, že by temnou hmotou mohly být slabě svítící hvězdy, jejich konečná stadia v podobě bílých trpaslíků, neutronových hvězd a černých děr, planety nebo nesvítící oblaka prachu a plynu. Tato tělesa ale tvoří jen zanedbatelnou část temné hmoty. Postupně se zjišťovalo, že temná hmota má jinou povahu než hmota klasická. Kdyby se měl vysvětlit pohyb hvězd v galaxiích a galaxií v kupách pomocí temné hmoty, muselo by být v galaxiích přes 70 % její hmotnosti tvořeno hmotou neznámé povahy (podle typu galaxie) a v kupách galaxií ještě více. Temná hmota by měla být z částic, na které ze čtyř

známých sil působí pouze *gravitační* a možná i *slabá* (nepůsobí na ně *silná* ani *elektromagnetická* síla). Proto je temná hmota ovlivňována pouze gravitačně (uvažovaný vliv slabé síly by byl zanedbatelný).

Objevily se i další náznaky této skutečnosti. V galaxiích se vyskytuje velmi horký plyn, který vyzařuje rentgenové záření, a proto jej můžeme pozorovat (obr. 3). Čím je teplota plynu vyšší, tím větší je rychlost chaotického pohybu atomů, které plyn tvoří. Pokud je tato rychlost větší než rychlost potřebná k opuštění gravitačního vlivu galaxie, horký plyn z galaxie unikne.³ V galaxiích ale pozorujeme i plyn o takové teplotě, že by už dávno unikl, kdyby hmotnosti galaxií mnohonásobně nepřevyšovaly hmotnost jejich klasické hmoty.

Určovat hmotnosti galaxií a kup galaxií lze i pomocí vlivu, které má jejich gravitační pole na světlo, které jím prolétá. Gravitační pole působí jako čočka. V tomto případě však musíme použít Einsteinovu obecnou teorii relativity, protože Newtonova teorie nám neumožní správný popis tohoto jevu.⁴ Z toho, jak gravitační pole galaxie (nebo galaktické kupy) ovlivňuje dráhu světla galaxií ležících za ní (obr. 4), lze určit hmotnost této galaxie (nebo galaktické kupy). I takto určené hmotnosti jsou mnohem větší než hmotnosti klasické hmoty těchto objektů.

1. Nahoře svítící hmota galaxie M100. Snímek Evropské jižní observatoře (ESO).

1) Někteří autoři mají raději označení *skrytá hmota*.

2) Vzhledem k tomu, že hmotnost nukleonů (protonů a neutronů) je o několik řádů vyšší než hmotnost elektronů, označuje se často klasická hmota jako *baryonová*. Protony a neutrony se totiž řadí k baryonům.

3) Velikost rychlosti, která je potřebná k úniku z gravitačního vlivu galaxie, závisí na její hmotnosti.

4) Newtonova teorie gravitace je limitním případem Einsteinovy obecné teorie relativity.

RNDr. Vladimír Wagner, CSc., (*1960) vystudoval Matematicko-fyzikální fakultu UK v Praze. V Ústavu jaderné fyziky AV ČR se zabývá hlavně experimentálním studiem horké a husté jaderné hmoty v relativistických srážkách těžkých iontů.

5) Přesněji se má na mysli, že záření je tepelného původu a jeho energetické spektrum odpovídá spektru záření absolutně černého tělesa se zmíněnou teplotou.

Asi existuje, protože bez ní nic nevysvětlíme

Všechny důkazy, které jsme dosud zmínili, byly založeny na teorii gravitace. Někdy vystačíme s klasickou limitou v podobě Newtonovy teorie (v případě pohybu hvězd v Galaxiích, galaxiích v kupách galaxiích nebo existence velmi horkého plynu v galaxiích), jindy je třeba použít Einsteinovy obecné teorie relativity (v případě gravitačních čoček). Dosud popisované skutečnosti je tak možné vysvětlit i jiným způsobem než existencí neznámého druhu hmoty. Stejně efekty bychom pozorovali, kdyby se gravitační síla chovala na velkých vzdálenostech jinak, než předpovídá Newtonova nebo Einsteinova teorie. Lze navrhnout takový popis, který by vedl k tomu, že na velmi velkých vzdálenostech (srovnatelných s galaktickými rozměry) by intenzita gravitační přitažlivosti klesala pomaleji, než předpokládají současné teorie, a předchozí pozorování by tak byla vysvětlena bez existence temné hmoty. Několik takových modifikací gravitačních teorií už bylo navrženo. Teď se však dostáváme k pozorováním, která se modifikovanými gravitačními teoriemi vysvětlují daleko obtížněji. V pozorovaných jevech se totiž uplatňují i jiné typy interakce než gravitační. Interpretace těchto jevů je ovšem složitější.

Kdyby neexistovala temná hmota, těžko by se dal vysvětlit pozorovaný vývoj galaxií a jejich chování při simulovaných srážkách. Galaxie začínají vznikat jako koncentrace hmoty již na počátku vesmíru. Nejdříve jsou

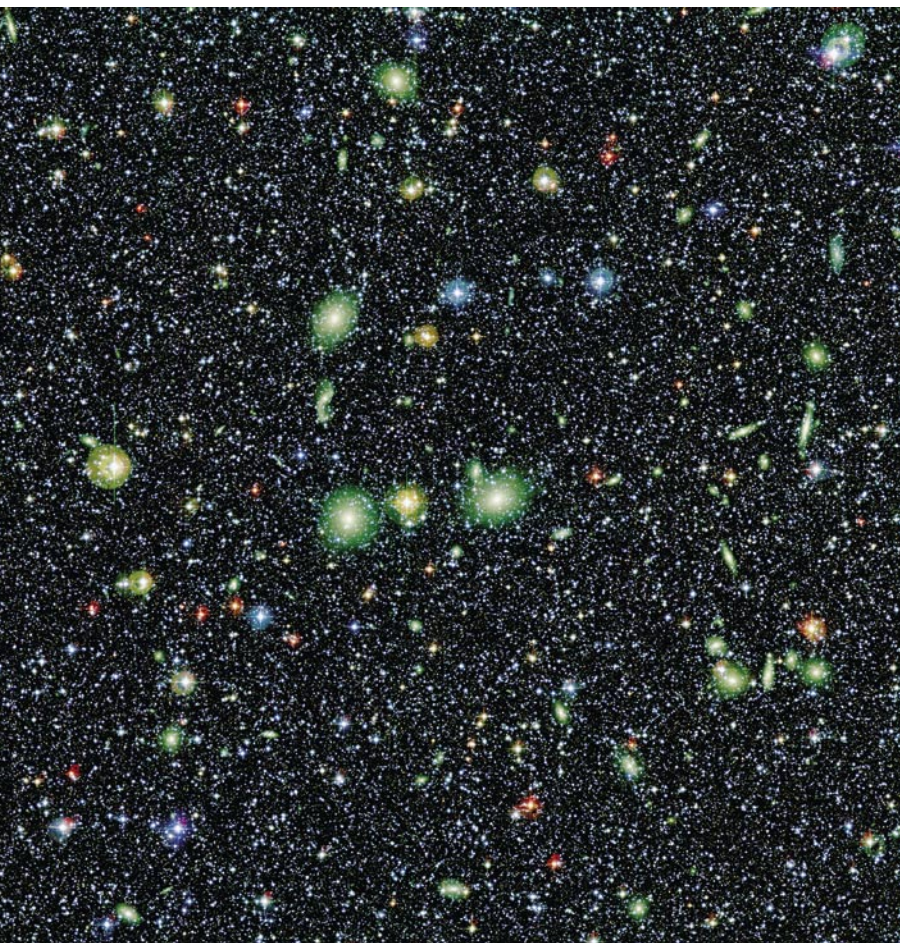
složeny z plynu, který se postupně spotřebovává při vytváření hvězd. Je buď v neutrálním stavu, nebo ionizovaný v podobě plazmatu. Galaxie vytvářejí skupiny o desítkách až stovkách členů, větší jsou kupy galaxií, ale i ty se sdružují do ještě větších struktur. Také prostor mezi galaxiemi je vyplněn plynem, jeho hustota je však velmi malá (od jednotek až po tisícovky atomů na m^3 podle bohatosti kupy), daleko menší než hustota plynu v galaxiích. V důsledku obrovského objemu kup je však celková hmotnost plynu větší než celková hmotnost klasické hmoty v galaxiích kupy. Jednotlivé galaxie ve skupinách se srážejí a buď splývají, nebo ty větší pohlcují ty menší. Tak se střední velikost galaxií zvětšuje a zároveň v nich ubývá plyn, jenž tvoří hmotu postupně vznikajících hvězd. Také v nich k původnímu vodíku a heliu, které pocházejí z dob počátku vesmíru, přibývají těžší prvky. Vznikají v průběhu života hvězd.

Řadu srážek galaxií můžeme pozorovat i teď. Jejich průběh a výsledek není dán jen gravitačními silami, které působí na hvězdy a galaktický plyn. Atomy na sebe působí také elektromagnetickou silou, která způsobuje silné „tření“ pohybující se klasické hmoty v plynu. A tak se pohyb plynné složky galaxií při srážce mění mnohem více než pohyb hvězd či temné hmoty, která je ovlivňována pouze gravitačními silami. Pohybující se hvězdy jsou totiž kompaktní a odpor plynu na ně působí jen minimálně. Je to podobné, jako když do vody vletí stejnou rychlostí šípky a balony. Na šípky působí tření daleko méně, a proto balonům brzy utečou. A právě tyto vlastnosti jsou základem nového důkazu existence temné hmoty.

Jak se chovala po velkém třesku

Další oblastí, při jejímž vysvětlování se bez temné hmoty pravděpodobně neobejdeme, je velmi raný vývoj vesmíru. O něm nám v poslední době přináší nejvíce informací reliktní záření, které je jedním z hlavních důkazů, že vesmír byl na počátku velmi horký a hustý. Teplota⁵ záření, zpočátku velmi vysoká, s rozpínáním vesmíru klesala a nyní je jen pár stupňů nad absolutní nulou. Záření dnes můžeme pozorovat v mikrovlnné oblasti radiových vln. Teplotu záření lze určit z jeho spektra, je téměř stejná v libovolných směrech. Nepatrné rozdíly v teplotě tohoto záření zkoumaly vesmírné sondy COBE a WMAP. Tak byly získány informace o počátcích vesmíru – fluktuacích hustoty, jeho složení a jeho vývoji. A právě z rozboru dat jsme zjistili již zmíněné procentuální zastoupení klasické hmoty, temné hmoty i předpokládané temná energie. Přítomnost a charakter temné hmoty však ovlivňuje i množství lehkých prvků (různých izotopů H, He, a Li) vznikajících v počátcích vesmíru a poměr mezi jednotlivými jejich izotopy. Poměr mezi množstvím prvotního deuteria, které nevzniklo ve hvězdách, a vodíku je jednou z hlavních experimentálních indicií, že, kromě hmoty klasického charakteru, existuje i velké množství jiného typu hmoty složené z částic s relativně větší klidovou hmotností.

2. Galaktická kupa.
Téměř všechny skvrny na fotografii jsou jednotlivými galaxiemi. Snímek Evropské jižní observatoře (ESO).

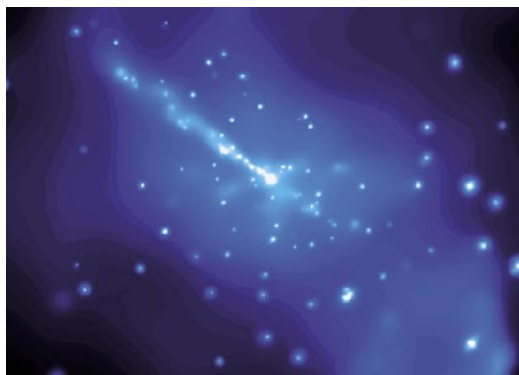


Je vidět, že nepřímých důkazů existence temné hmoty je víc – a to jsme se nezmínili o všech! Velká část je však vysvětlitelná i obměnou teorií gravitace. Interpretace dalších je pak založena na poměrně složitých modelových představách a předpokladech. Jejich změna by mohla vysvětlit i ty bez využití temné hmoty.

Usvědčena z činů, a přece neodhalena

A teď k tomu novému objevu, který by mohl být rozhodujícím důkazem toho, že za naše problémy může temná hmota, nikoliv modifikace gravitační teorie. Jak už bylo zmíněno, jde o pozorování dvou kup galaxií, které se srazily. Víme již, že nejvíce hmoty je v kupě galaxií soustředěno právě v předpokládané temné hmotě. Většina klasické hmoty je ve formě plynu rozprostřeného v prostoru mezi galaxiemi a jen malá část přímo v galaxiích.

Při srážce dvou kup galaxií interaguje plyn nejen gravitačně, ale i silou, která je podobná odporu vzduchu proti pohybující se hmotě a je elektromagnetického původu. Ta plyn silně zbrzdí. Galaxie jsou kompaktní, mají „ideálně aerodynamický tvar“ a zmíněná síla je zbrzdí jen minimálně. Temnou hmotu ovlivňuje pouze gravitace. Při srážce kup galaxií se hmota ovlivňovaná pouze gravitační silou (temná hmota a galaxie) dostane na jiné místo než hmota, na niž silně působí také elektromagnetická síla mezi částicemi plynu srážejících se kup. Mezigalaktický plyn se tak na rozdíl od galaxií při srážce velmi zbrzdí. Taková situace byla nedávno pozorována u kupy galaxií 1E0657-558, která je dvojitá. Dvě nesejně velké kupy se srazily, a pak se oddělily části složené z mezigalaktického plynu a z jednotlivých galaxií. Galaxie doletěly do daleko větší vzdálenosti od místa srážky než části složené z plazmatu a plynu. Snímky (obr. 5) ukazují, že oblaka horkého plynu ze srážejících se kup jsou mnohem blíže k sobě a v úplně jiném místě než galaxie z těchto kup. Větší část (několikanásobek) hmotnosti viditelné hmoty je obsažena v horkém plynu než v samotných galaxiích. Víme, že pokud temná hmota neexistuje, budou centra gravitace v místech těchto oblaků. Pokud existuje, bude v místech, kde jsou galaxie (protože interaguje pouze gravitační silou), a tam budou také centra gravitace (protože hmotnost temné hmoty bude tvořit největší část hmotnosti původních kup galaxií). Průběh gravitačního pole se podařilo určit z toho, jakým způsobem



3. Snímek galaxie Centaurus A v rentgenovém oboru (kosmická sonda Chandra) – diskrétní rentgenové zdroje i záření horkého galaktického plynu. Zdroj NASA.

vána u kupy galaxií 1E0657-558, která je dvojitá. Dvě nesejně velké kupy se srazily, a pak se oddělily části složené z mezigalaktického plynu a z jednotlivých galaxií. Galaxie doletěly do daleko větší vzdálenosti od místa srážky než části složené z plazmatu a plynu. Snímky (obr. 5) ukazují, že oblaka horkého plynu ze srážejících se kup jsou mnohem blíže k sobě a v úplně jiném místě než galaxie z těchto kup. Větší část (několikanásobek) hmotnosti viditelné hmoty je obsažena v horkém plynu než v samotných galaxiích. Víme, že pokud temná hmota neexistuje, budou centra gravitace v místech těchto oblaků. Pokud existuje, bude v místech, kde jsou galaxie (protože interaguje pouze gravitační silou), a tam budou také centra gravitace (protože hmotnost temné hmoty bude tvořit největší část hmotnosti původních kup galaxií). Průběh gravitačního pole se podařilo určit z toho, jakým způsobem

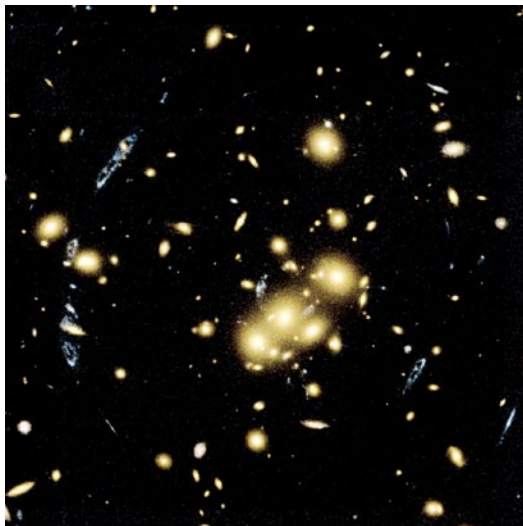


zelená
energie

příroda nás živí



4. Gravitační vliv kupy galaxií CL 0024-1654 vytváří několikery obraz vzdálené galaxie (modré podlouhlé útvary). Počet obrazů a jejich podoba závisí na rozložení hmotnosti v kupě galaxií. Snímek z Hubblova vesmírného dalekohledu, NASA.



6) Hmotnost se v jaderné fyzice často vyjadřuje pomocí energetických jednotek a Einsteinoва vztahu mezi hmotností a energií: $1\text{eV}/c^2 = 1,78 \times 10^{-36}\text{ kg}$.

7) Střední kvadratická rychlost reliktních neutrin s teplotou 1,95 K a hmotností $2\text{ eV}/c^2$ je téměř 5000 km/s, úniková rychlost z galaxie dosahuje hodnoty až 600 km/s a z kupy galaxií i více než 6000 km/s. Pochopitelně vše závisí na konkrétní hmotnosti a rozměru příslušných objektů, přičemž hlavně rozměry a hmotnosti kup galaxií jsou ve velmi širokém rozmezí.

8) Jednou z významných skupin, která pracuje v týmu budujícím toto zařízení, jsou fyzikové z Ústavu jaderné fyziky AV ČR v Řeži. Odpovídají za dlouhodobou kalibraci přístroje. Úspěšnými členy týmu jsou i naši studenti (jak diplomanti, tak doktorandi) a účast je kromě klasických grantů podporována i doktorským projektem GA ČR. V tomto případě jdou státní finance opravdu na špičkový fundamentální výzkum a účast mladých lidí v něm.

ovlivňuje světlo vzdálených galaxií nacházejících se za kupami. A svědčí pro druhou možnost – gravitační centra jsou v místech zvýšené koncentrace galaxií. (I modifikace popisu gravitační síly kladou centrum gravitace do místa s maximem hmotnosti, takže pozorovanou situaci nelze bez temné hmoty vysvětlit.) Vypadá to, že pozorování srážky kup galaxií potvrzuje existenci temné hmoty (a není třeba popis gravitace měnit).

Co by mohlo temnou hmotu tvořit? Nejžhavějšími kandidáty na vysvětlení podstaty temné hmoty jsou nové hypotetické částice. Bývají spojovány s teoriemi umožňujícími jednotný popis zmíněných čtyř druhů výše uvedených sil (viz J. Niederle, *Vesmír* 85, 480, 2006/8).

Částice vhodných vlastností se badatelé snaží zachytit v několika experimentech, v nichž pátrají buď po produktech jejich rozpadu, nebo po jejich (nepříliš pravděpodobných) reakcích s částicemi normální hmoty prostřednictvím slabé síly. Zatím tyto experimenty nevedly ke kýženému výsledku. Další možností je jejich produkce ve srážkách částic urychlených na velmi vysoké energie pomocí urychlovačů částic. V příštím roce by měl být spuštěn v mezinárodní laboratoři CERN nedaleko Ženevy zatím největší urychlovač na světě LHC, který pravděpodobně umožní produkci i pozorování takových částic.

Existuje řada dalších více či méně exotických kandidátů na temnou hmotu. Z nich zmíníme jednoho, s jehož pomocí se pokusili srážku kup galaxií popsat G. W. Angus a jeho kolegové: Částicemi temné hmoty prý nemusí být neznámé částice s poměrně velkou hmotností, ale naopak velice lehounká neutrina. Jejich hmotnost je více než dvěstětisíckrát menší než hmotnost elektronu, a proto se většinou pohybují téměř rychlostí světla.

Že by byla z neutrin?

O neutrinech jako složce temné hmoty se uvažuje déle. Dnes se však ví, že jde jen o její malou část, jejíž velikost závisí na hmotnosti neutrina. Pomocí rozpadu tritia bylo zatím jen prokázáno, že je menší než $2\text{ eV}/c^2$.⁶ A teď jak to souvisí s možností, že existuje modifikovaná gravitační teorie. Jaký je rozdíl mezi vysvětlením podstaty temné hmoty pomocí částic s větší hmotností a pomocí neutrin?

● Jestliže jsou podstatou temné hmoty částice s velkou hmotností, pohybují se malými rychlostmi a spolehlivě je udrží gravitační pole v galaxiích. Pak je jejich hustota v galaxiích mnohem větší než jinde, stejně jako v normální hmotě. Jejich celková hmotnost vysvětluje pohyb hvězd v galaxii, to, že neunikne horký plyn, i další pozorování, která naznačují, že mají galaxie daleko větší hmotnost, než je dána běžnou hmotou. Všechny efekty, které jsme uváděli jako důkazy existence temné hmoty, můžeme vysvětlit, a obejdeme se bez modifikací gravitačních teorií.

● Jestliže jsou temnou hmotou při srážce galaxií neutrina, šlo by o reliktní neutrina, která tu zůstala od samých počátků vesmíru, z období ještě ranějšího, než ze kdy pocházejí fotony reliktního záření. V té době byla neutrina velmi horká, ale s rozpínáním vesmíru jejich teplota klesala a nyní je jen 1,95 stupně nad absolutní nulou ($-271,20\text{ °C}$). Již dříve jsme si řekli, že rychlost částic plynu je tím vyšší, čím vyšší je jeho teplota. I když mají neutrina díky své velmi malé hmotnosti za normálních podmínek rychlost blízkou rychlosti světla, reliktní neutrina mohou mít v důsledku své velmi nízké teploty rychlost mnohem nižší,⁷ gravitační pole kupy galaxií je udrží. Přesto jsou pořád ještě jejich rychlosti větší než únikové rychlosti z jednotlivých galaxií – a ty je neudrží. Hustota neutrin v galaxiích tedy nebude odlišná od hustoty neutrin v mezgalaktickém prostoru. Pak temná hmotu ve formě neutrin nemůže vysvětlit pohyb hvězd v galaxii, existenci horkého plynu v galaxii ani další jevy spojené s předpokládaným větším gravitačním polem galaxie. K vysvětlení těchto jevů zůstává prostor pro modifikace zákonitostí popisujících gravitaci.

Není to však tak, že platí buď jedno, nebo druhé (tedy temná hmotu, nebo modifikace gravitační teorie), ale jen buď pouze temná hmotu (z těžkých částic), nebo třeba jak temná hmotu (z neutrin), tak modifikace gravitačního zákona. A navíc je jen velmi malé rozpětí pro hmotnost neutrina. Jestliže

NEUTRINO

Existenci neutrina předpověděl W. Pauli r. 1931, aby vysvětlil průběh radioaktivního rozpadu a velikost energií elektronů, které při něm vznikají. Předpověděl existenci neutrální částice, která interaguje s ostatními částicemi jen velice slabě. Trvalo pak čtvrt století, než byla tato částice zachycena a její existence prokázána. Původně se předpokládalo, že její klidová hmotnost je nulová. Dnes se ví, že sice nulová není, ale je velmi malá. Zatím však pro tuto hmotnost známe pouze horní hranici. Existují tři různé druhy neutrin a právě pozorování oscilací mezi druhy (samovolnou přeměnou jednoho druhu neutrin v druhý) byla prokázána nenulová klidová hmotnost alespoň některých druhů. S jinou látkou interagují neutrina pouze slabě (tedy i s velice malou pravděpodobností) a gravitačně. Vesmír by měl být vyplněn množstvím reliktních neutrin. Ta pocházejí z doby těsně po začátku velkého třesku (od hmoty se oddělila už jednu sekundu po počátku rozpínání, zatímco reliktní elektromagnetické záření až téměř po 400 000 letech). Nyní mají tato reliktní neutrina velice malou energii a jejich detekce je tak natolik obtížná, že se to zatím nezdařilo a na potvrzení jejich existence se stále čeká.

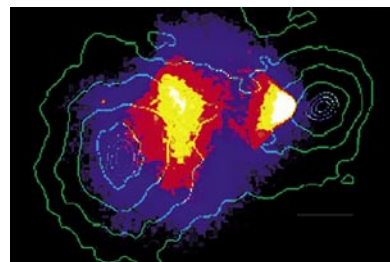
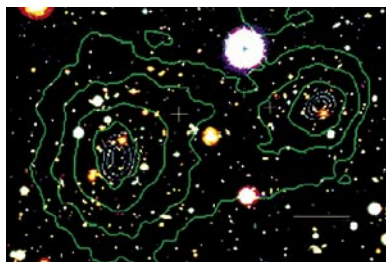
bude jen o něco menší než současná limita na tuto hmotnost, už na vysvětlení temné hmoty v kupě galaxií nestačíme.

Situaci jsme pochopitelně popsali zjednodušeně. Ve skutečnosti je při dané teplotě rychlost neutrin rozložena – část je větší než úniková rychlost z galaxie (nebo z kupy galaxií), část je nižší. Jaká část reliktních neutrin je vázána v galaktické kupě, popř. v galaxiích, silně závisí na jejich hmotnosti, gravitačních zákonech a celkovém vývoji vesmíru. Proto výpočty, které určují, jakou hmotnost musí mít neutrino pro kterou modifikaci gravitačních zákonů, aby se vysvětlil pozorovaný tvar gravitační čočky, kterou vytvářejí kupy galaxií po srážce, nejsou jednoduché. A právě tyto výpočty a analýzy provedl G. W. Angus s kolegy – a našel skulinku, která by vyžadovala úpravu našeho popisu gravitační síly. Jde ovšem o možnost málo pravděpodobnou.

Proč se o ní zmiňují? Otázku, jestli hmotnost neutrina leží v té inkriminované oblasti, rozhodne mezinárodní experiment na přístroji KATRIN, který se staví v německém Karlsruhe. Měl by určovat hmotnost neutrin pomocí měření energie elektronů z rozpadu tritia.⁸

Většina hmoty ve vesmíru má zatím neznámou podstatu

Že se autoři modifikací gravitačních teorií nevzdávají lehce, dokazuje i reakce autora jedné z jejich variant J. W. Moffata. Ten publikoval práci, v níž se snaží pozorovaný výsledek



srážky kup galaxií vysvětlit bez temné hmoty i bez neutrin. Vychází z toho, že interpretace zobrazení vzdálených galaxií gravitační čočkou, vytvořenou poměrně složitým rozložením hmotnosti s několika gravitačními centry, není úplně jednoduchá. Jednorozměrné výpočty pomocí jeho modifikace gravitační teorie zatím naznačují, že by se s ní dal průběh zobrazení vzdálených galaxií popsat. Na přesných výpočtech však teprve pracuje. I kdyby se mu podařilo popsat konkrétní případ zobrazení vzdálených galaxií gravitační čočkou vytvořenou kupami galaxií 1E0657-558 pomocí jeho modifikace, o řadě dalších modifikací gravitační teorie již víme, že testem neprošly. Důležité pak bude hledat další případy srážek kup galaxií a zkoumat ty, ve kterých jsou galaxie a mezigalaktický plyn ještě více odděleny.

Situace ve zkoumání temné hmoty přesto vypadá nadějně a společné úsilí astronomů a fyziků (jaderných i částicových) by v nejbližším desetiletí mohlo zajistit, abychom znali příčinu, která formuje nám dobře známý vesmír, v němž žijeme. ∞

5. Vlevo je zobrazení galaktické dvojkupy 1E0657-558 ve viditelné oblasti spektra. Jsou zřetelné dvě koncentrace svítících bodů. Bílými křížky jsou vyznačena místa maximální koncentrace dvou plynných oblaků spojených s kupami. Vpravo je snímek kup pořízený družicí Chandra v rentgenové oblasti, která umožňuje zobrazit horký mezigalaktický plyn. Zelenými čarami vyznačen průběh intenzity gravitace. Bílá úsečka vyznačuje měřítko vzdáleností v kupě: 200 kpc = 652 000 světelných let. D. Clowe et al: astro-ph/0608407.



zelená
energie

zelenou energií jí to můžeme vrátet

Jsme podnik s dlouholetou tradicí v oboru živočišné a rostlinné výroby. Vedle chovu skotu a prasat se zaměřujeme na pěstování obilovin a zeleniny, proslulé je zejména naše tradiční kysané zelí. Dbáme na to, aby naše podnikání bylo plně v souladu s ekologickými zásadami. Stali jsme se proto odběrateli Zelené energie Skupiny ČEZ, prostřednictvím které přispíváme na rozvoj obnovitelných zdrojů energie.

Ing. Oldřich Planka, ředitel společnosti ZP Otice, a. s.



Logo Zelené energie mohou firemní odběratelé využít ve své marketingové komunikaci a prezentovat tak svůj zodpovědný postoj k ochraně životního prostředí.